

Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung und Vorrichtung zur Anwendung dieses Verfahrens

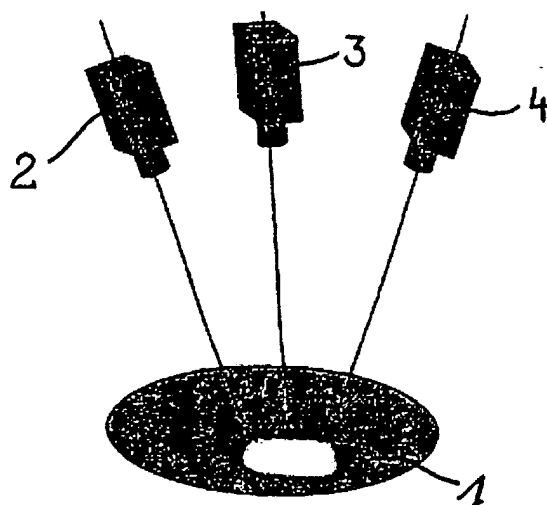
Patent number: DE19637682
Publication date: 1998-03-12
Inventor: KIRSCHNER VOLKER DIPL PHYS (DE); SCHREIBER WOLFGANG DIPL PHYS D (DE)
Applicant: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)
Classification:
- international: G01B11/03; G01D5/38
- european: G01B11/25D
Application number: DE19961037682 19960905
Priority number(s): DE19961037682 19960905

Also published as:

WO9810244 (A1)
EP0923705 (A1)
EP0923705 (B1)

Abstract of DE19637682

The invention concerns a device and a method for measuring distances and/or spatial coordinates of objects and/or their variation as a function of time. According to the claimed method, the object (1) to be measured is exposed successively by projection devices (2, 4) from at least two predetermined directions, either with at least two successive independent light patterns or with one light pattern whose light intensity can be described as the sum of two independent light patterns. From the capture of these at least four light patterns produced by a sensor (3), four phase measured values are determined for each point to be measured, that is there is available per measured point at least one supernumerary phase measured value with which determine the geometry parameters of the measuring device can additionally be determined using mathematical procedures which are otherwise known, such as for example beam compensation. The method according to the invention and the device according to the invention thus enable a self-calibrating measuring system to be produced.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 196 37 682 A 1

51 Int. Cl. 6:
G 01 B 11/03
G 01 D 5/38

21 Aktenzeichen: 196 37 682.3
22 Anmeldetag: 5. 9. 96
43 Offenlegungstag: 12. 3. 98

DE 196 37 682 A 1

71 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80635 München, DE

74 Vertreter:
PFENNING MEINIG & PARTNER, 10707 Berlin

72 Erfinder:
Schreiber, Wolfgang, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 07747
Jena, DE; Kirschner, Volker, Dipl.-Phys., 07749 Jena,
DE

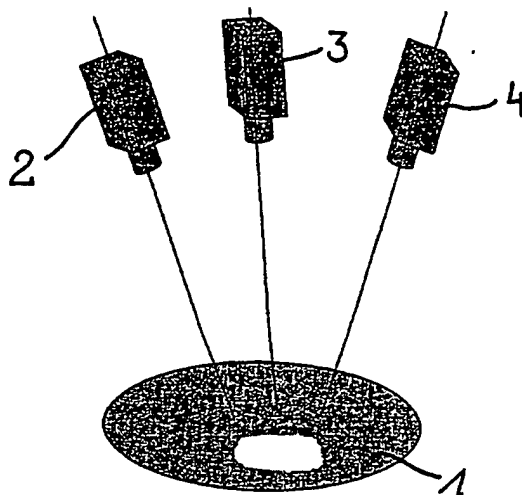
56 Entgegenhaltungen:
DE 40 07 500 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher
Änderung und Vorrichtung zur Anwendung dieses Verfahrens

57 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren
zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen
Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher
Änderung. Derartige Vorrichtungen und Verfahren werden
für 3-D-Meßverfahren und dienen der Überprüfung der
Maßhaltigkeit und Qualitätskontrolle von Bauteilen in der
Fertigung oder auch der Digitalisierung von Entwürfen,
Modellen und Mustern.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der zu ver-
messende Gegenstand (1) mit Projektionsvorrichtungen (2,
4) aufeinanderfolgend aus mindestens zwei vorbestimmten
Richtungen entweder nacheinander mit mindestens zwei
unabhängigen Lichtmustern oder mit einem Lichtmuster
belichtet wird, dessen Lichtintensität als Summe zweier
unabhängiger Lichtmuster beschrieben werden kann. Aus
den mit einem Sensor (3) erzeugten Aufnahmen dieser
mindestens vier Lichtmuster werden vier Phasenmeßwerte
für jeden Meßpunkt ermittelt, d. h. pro Meßpunkt steht
mindestens ein überzähliger Phasenmeßwert zur Verfügung,
mit dem zusätzlich die Geometrieparameter der Meßvorrich-
tung mit Hilfe ansonsten bekannter mathematischer Verfah-
ren, wie beispielsweise dem Bündelausgleich, bestimmt
werden. Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfin-
dungsgemäße Vorrichtung ermöglichen also den Aufbau
eines selbstkalibrierenden Meßsystems.



DE 196 37 682 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung nach den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 9.

Derartige Vorrichtungen und Verfahren werden für 3D-Meßverfahren insbesondere im Maschinenbau, Automobilbau, Keramikindustrie, Schuhindustrie, Schmuckindustrie, Medizin und weiteren Bereichen verwendet. Sie dienen der Überprüfung der Maßhaltigkeit und Qualitätskontrolle von Bauteilen in der Fertigung oder auch der Digitalisierung von Entwürfen, Modellen und Mustern. Zunehmendes Interesse für 3D-Meßverfahren gibt es insbesondere auch in der Medizin. Hier ergeben sich durch 3D-Vermessungen neue Möglichkeiten zur Diagnostik und in Verbindung mit Digitalisierungssystemen in der plastischen Chirurgie.

Die steigenden Forderungen nach einer weitgehend vollständigen Qualitätskontrolle im laufenden Produktionsprozeß sowie nach der Digitalisierung der Raumform von Prototypen machen die Aufnahme von Oberflächentopografien zu einer immer häufiger gestellten Meßaufgabe. Dabei stellt sich die Aufgabe, die Koordinaten einzelner Punkte der Oberfläche der zu vermessenden Gegenstände in kurzer Zeit zu bestimmen. Es gibt unterschiedliche Ansätze, sowohl das Zeit- als auch das Antastproblem durch den Einsatz optischer Meßverfahren zu lösen. Der Vorteil optischer Meßverfahren liegt in der berührungslosen und damit rückwirkungsfreien Messung sowie darin, daß die Informationen über das Objekt in bildhafter Form und damit leicht verständlich vorliegen. Zu diesen optischen Meßverfahren gehört die Streifenprojektionstechnik einschließlich der Gray-Code-Technik, das Moiréverfahren, das holografische und Speckle-Contouring-Verfahren sowie die Fotogrammetrie.

Charakteristisch für diese Verfahren ist, daß die interessierenden Meßgrößen, d. h. die Raumkoordinaten der Oberfläche von Gegenständen, indirekt aus Phasenmeßwerten in Schnittlinienbildern von Lichtmustern, beispielsweise Streifenmustern, die auf das Objekt projiziert werden, aus Phasenmeßwerten in Moirés, aus Koordinaten der Durchstoßungspunkte von Beobachtungsstrahlen durch die Empfängerebene sowie aus Parametern bestimmt werden, die die Geometrie der Meßanordnung, d. h. die Lichtquellen, optischen Bauelemente sowie die Bildaufzeichnungsvorrichtung charakterisieren. Sind die Geometrieparameter der Meßanordnung bekannt, kann man aus drei linear voneinander unabhängigen Phasenmeßwerten und Bild- bzw. Pixelkoordinaten die Koordinaten der Meßpunkte auf der Oberfläche des Gegenstandes in einem Sensorkoordinatensystem durch Triangulation berechnen.

Aus der DD 2 80 169 A1 ist ein Verfahren zur Vermessung der Form bzw. Formänderung von Körpern mit streuender Oberfläche bekannt, bei dem mittels dreier voneinander unabhängiger Flächenscharen gleicher Helligkeit und unter Einsatz von Paßmarkierungen am Objekt sowie unter Berücksichtigung der Geometrieparameter der Beleuchtungs- und Aufnahmevorrichtung für jeden Meßpunkt auf der Oberfläche des zu vermessenden Körpers drei Raumkoordinaten bestimmt werden. Hierbei ist es jedoch nötig, daß auf der Oberfläche des Körpers ein Bezugspunkt als Nullpunkt eines Koordinatensystems festgelegt wird, relativ zu dem die Koordinaten der restlichen Oberflächenpunkte bestimmt werden.

Aus STAHS und WAHL, "Oberflächenvermessung mit einem 3D-Robotersensor", ZPF Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung 6/1990, Seiten 190—202, ist eine Meßvorrichtung bekannt, die einen Sensor zur Bildaufnahme sowie mindestens zwei Projektoren aufweist. Hierbei wird zur Vermessung des Gegenstandes als Triangulationstechnik das codierte Lichtverfahren angewandt. Die Belichtung des Gegenstandes mit einem Streifenmuster erfolgt dabei durch denjenigen Projektor, der in bezug auf den Gegenstand und in bezug auf die Position des Sensors die beste Ausleuchtung des Gegenstandes ermöglicht.

Nachteilig an den Verfahren nach dem Stand der Technik ist, daß die Eigenschaften, d. h. die Geometrieparameter der Meßvorrichtung einen Einfluß auf die Bestimmung der Koordinaten der Meßpunkte besitzen. Daher müssen diese Geometrieparameter gewöhnlich vor Beginn der Messung durch Einmessen eines bekannten Objektes bestimmt werden. Bei der DD 2 80 169 A1 ist hingegen die Festlegung von Paßpunkten auf dem zu vermessenden Objekt für die vollständige Erfassung der Koordinaten der Objektoberfläche nötig.

Zur Bestimmung der drei Raumkoordinaten jedes Oberflächenpunktes des zu vermessenden Objektes werden drei Maßzahlen benötigt, die gewöhnlich aus einem Phasenmeßwert und den zwei Pixelkoordinaten des Sensors bestehen. Nachteilig hieran ist, daß die räumliche Auflösung durch die Sensorauflösung beschränkt wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen und/oder deren zeitlicher Änderung zur Verfügung zu stellen, das sich selbst kalibriert und eine hohe Meßpunktdichte bei zugleich rascher Koordinatenbestimmung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren und die Vorrichtung nach den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 9 in Verbindung mit ihren kennzeichnenden Merkmalen gelöst.

Dadurch, daß der Gegenstand aufeinanderfolgend aus mindestens zwei vorbestimmten Richtungen entweder nacheinander mit mindestens zwei unabhängigen Lichtmustern oder mit einem Lichtmuster belichtet wird, dessen Lichtintensität als Summe zweier unabhängiger Lichtmuster beschrieben werden kann, stehen insgesamt vier Aufnahmen unabhängiger Lichtmuster oder zwei Aufnahmen voneinander unabhängiger und aus zwei unabhängigen Lichtmustern zusammengesetzter Lichtmuster zur Verfügung. Dies bedeutet, daß pro Meßpunkt mindestens vier Phasenmeßwerte aus den insgesamt vier unabhängigen Lichtmustern bestimmt werden können. Damit stehen pro Meßpunkt mehr als die zur Koordinatenbestimmung des Meßpunktes benötigten drei unabhängigen Meßwerte zur Verfügung, so daß mit Hilfe der überzähligen Meßwerte zusätzlich die Geometrieparameter der Meßvorrichtung mit Hilfe ansonsten bekannter mathematischer Verfahren, wie beispielsweise dem Bündelausgleich, bestimmt werden können.

Allein aus den vier Phasenmeßwerten pro Meßpunkt lassen sich sämtliche benötigten Parameter und Koordinaten bestimmen. Da die Zahl der Meßpunkte sehr hoch ist, ist auch die Anzahl der überzähligen Phasenmeß-

werte groß. So trägt beispielsweise bei einer Belichtung aus zehn oder zwanzig Richtungen jeder Meßpunkt sieben bzw. siebzehn überzählige Phasenmeßwerte zur Bestimmung der Geometrieparameter der Anordnung bei. Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens wird folglich ein selbst einmessendes System zur Verfügung gestellt, da keinerlei Korrelationstechniken zur Bestimmung homologer Punkte wie bei der herkömmlichen Fotogrammetrie und auch keine Paßpunkte auf dem zu messenden Objekt benötigt werden.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung ist die Anzahl der überzähligen Meßwerte weit größer als die Anzahl der zu bestimmenden Geometrieparameter. Es ist daher nicht mehr nötig, beispielsweise die optischen Abbildungseigenschaften des Sensorsystems, beispielsweise der CCD-Kamera, zu kennen. Das Meßverfahren wird daher unabhängig von den Eigenschaften der verwendeten Bestandteile des Meßsystems.

Vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in den abhängigen Ansprüchen gegeben.

Als unabhängige Lichtmuster können vorteilhafterweise zwei Streifenmuster, beispielsweise Liniengitter, verwendet werden. Sind diese um einen vorbestimmten Winkel, idealerweise 90°, gegeneinander versetzt, so ist die Auswertung mit Hilfe einfacher mathematischer Algorithmen möglich.

Als Lichtmuster, dessen Lichtintensität als Summe zweier unabhängiger Lichtmuster beschrieben werden kann, eignet sich beispielsweise ein additives Kreuzgitter. Ein derartiges Kreuzgitter kann als unabhängige Überlagerung zweier Liniengitter betrachtet werden. In diesem Falle sind insgesamt nur zwei Aufnahmen zur Bestimmung von vier Phasenmeßwerten pro Meßpunkt nötig. Dadurch läßt sich die Meßdauer mit dem erfindungsgemäßen Verfahren weiter verkürzen. Wird zur Belichtung der einzelnen Lichtmuster jeweils dieselbe Projektionsvorrichtung verwendet, so müssen lediglich aus den Phasenmeßwerten die Geometrie- und Abbildungseigenschaften dieser Projektionsvorrichtung bestimmt werden. Selbstverständlich muß in diesem Falle die Projektionsvorrichtung zwischen den einzelnen Belichtungsvorgängen verschoben werden.

Im folgenden werden einige vorteilhafte Ausführungsbeispiele der beschriebenen Erfindung erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Meßvorrichtung und

Fig. 2 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden im Unterschied zu den bisher bekannten Streifenprojektions- oder Gray-Code-Verfahren auf das zu vermessende Objekt aus mindestens zwei unterschiedlichen, beliebig auswählbaren Richtungen ein oder mehrere Liniengitter bzw. Gray-Code-Sequenzen projiziert. Für jede Beleuchtungsrichtung werden durch mindestens eine Kamera die erzeugten Intensitätsverteilungen registriert, die eine Berechnung der Phasenmeßwerte unter Verwendung ansonsten bereits bekannter Phase-Step- oder Phase-Shift-Techniken bzw. Kombinationen von Gray-Code- und Phase-Step-Techniken für jeden Meßpunkt erlauben. Dabei bleibt die Position der Kamera bzw. Kameras während der Registrierung unverändert. In einem abschließenden Schritt wird das Gitter oder die Gray-Code-Sequenz um 90° gedreht und erneut auf den Gegenstand projiziert, wobei die Drehachse parallel zur Gitternormalen liegt. Es werden wie im ersten Schritt für die Berechnung der Phasenmeßwerte für die mindestens einen Kamera Intensitätsverteilungen auf der Objektoberfläche aufgenommen. Auch dieser Schritt wird für mindestens eine zweite Beleuchtungsrichtung wiederholt. Die so gemessenen Phasenwerte Φ_j (Phasenmeßwert für die erste Gitterstellung) und φ_j (Phasenmeßwert nach 90° Gitterdrehung) entsprechen Koordinatenmeßwerten in der Gitterebene des Projektors, wobei der Index j die Anzahl der Beleuchtungseinrichtungen angibt. Unter Verwendung der in der Fotogrammetrie üblichen Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Maßzahl (Phasenmeßwert) und Koordinaten ergibt sich:

$$\frac{2\pi}{\Lambda} (\Phi_j - \Phi_{j0}) = -c \frac{r_{11j}(x - x_{0j}) + r_{21j}(y - y_{0j}) + r_{31j}(z - z_{0j})}{r_{13j}(x - x_{0j}) + r_{23j}(y - y_{0j}) + r_{33j}(z - z_{0j})} \quad (1)$$

$$\frac{2\pi}{\Lambda} (\Psi_j - \Psi_{j0}) = -c \frac{r_{12j}(x - x_{0j}) + r_{22j}(y - y_{0j}) + r_{32j}(z - z_{0j})}{r_{13j}(x - x_{0j}) + r_{23j}(y - y_{0j}) + r_{33j}(z - z_{0j})} \quad (2)$$

wobei bedeuten:

x, y, z : Koordinaten des Meßpunktes in einem vorgegebenen Sensorkoordinatensystem,

x_{0j}, y_{0j}, z_{0j} : Koordinaten der Projektionszentren des Projektionsobjektivs in den unterschiedlichen Projektorpositionen,

r_{ij} : Matricelemente einer Drehmatrix, die die Drehung des Gitterkoordinatensystems gegen das Koordinatensystem x, y, z beschreiben,

Φ_{j0}, φ_{j0} : Phasenwerte am Hauptpunkt des Projektors,

c : Projektorkonstante, die den senkrechten Abstand zwischen Gitterebene und Projektionszentrum beschreibt.

c ist ein Parameter, der für alle Projektorpositionen gleich ist und

Λ : Linienabstand des Gitters.

Der funktionale Zusammenhang zwischen Phasenmeßwerten und Koordinaten kann in einfacher Weise so erweitert werden, daß auch die Verzeichnung der Projektorlinse als Geometrieparameter mit berücksichtigt wird. Mit Hilfe bekannter mathematischer Algorithmen können aus den mit mindestens zwei unterschiedlichen Projektionsrichtungen gewonnenen Phasenmeßwerten sowohl die Koordinaten der Meßpunkte als auch die Sensorparameter gleichzeitig berechnet werden.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Meßvorrichtung mit zwei Projektoren 2 und 4 sowie einer CCD-Kamera 3. Wie oben beschrieben, werden mit Hilfe der Projektoren 2 und 4 aus zwei verschiedenen Richtungen Streifenmuster auf einen Gegenstand 1 projiziert, die durch die CCD-Kamera 3 aufgezeichnet werden. Mit Hilfe der oben beschriebenen mathematischen Algorithmen werden aus diesen aufgezeichneten Bildern der Oberfläche des Gegenstandes 1 mindestens vier Phasenmeßwerte für jeden Meßpunkt und aus diesen Phasenmeßwerten die Koordinaten des Meßpunktes sowie die Geometrie- und Abbildungseigenschaften der Meßvorrichtung bestimmt.

Fig. 2 zeigt die aufeinanderfolgende Projektion senkrecht aneinanderstehender Streifenmuster auf einen Gegenstand 1. Dabei bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente. In Fig. 2A ist eine Projektionsvorrichtung dargestellt, die eine Lichtquelle 5, eine Kondensorlinse 6, ein Streifengitter 7a und ein Projektionsobjektiv 8 aufweist. In einem ersten Schritt wird von der Projektionsvorrichtung mit Hilfe des Liniengitters 7a ein senkrecht stehendes Linienmuster auf den zu vermessenden Gegenstand 1 projiziert. Das auf dem Gegenstand 1 erzeugte Streifenmuster wird durch eine Kamera aufgezeichnet. In einem zweiten Schritt wird das Liniengitter 7a um 90° gedreht und wie in Fig. 2B als Liniengitter 7b von der Projektionsvorrichtung auf den Gegenstand 1 projiziert. Auch dieses auf der Oberfläche des zu vermessenden Gegenstandes erzeugte Linienmuster wird von der Kamera aufgezeichnet.

Die mit Fig. 2A und Fig. 2B erläuterten Schritte werden aus einer zweiten Projektionsrichtung wiederholt. Damit stehen insgesamt vier unterschiedliche Lichtmuster zur Auswertung zur Verfügung. Da jedes Lichtmuster für jeden Meßpunkt der Oberfläche des Gegenstandes 1 einen Phasenmeßwert ergibt, stehen pro Meßpunkt vier Phasenmeßwerte zur Bestimmung der Koordinaten der Meßpunkte und der Geometrieparameter der Meßanordnung zur Verfügung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen (1) und/oder deren zeitlicher Änderung, wobei der Gegenstand mit einer Projektionsvorrichtung (2, 4) aus mindestens zwei vorbestimmten Richtungen mit Lichtmustern belichtet wird und diese Lichtmuster punktweise — mit mindestens einem räumlich mindestens zweidimensional auflösenden Sensorsystem (3) aufgezeichnet werden, dadurch gekennzeichnet,
- daß der Gegenstand (1) aufeinanderfolgend aus mindestens zwei vorbestimmten Richtungen entweder nacheinander mit mindestens zwei unabhängigen Lichtmustern oder mit einem Lichtmuster belichtet wird, dessen Lichtintensitäten als Summe zweier unabhängiger Lichtmuster beschrieben werden kann,
- daß diese Lichtmuster mit dem mindestens einen Sensorsystem (3) aufgezeichnet werden,
- daß aus den aufgezeichneten Lichtmustern mindestens vier Phasenmeßwerte für jeden aufgezeichneten Punkt der Oberfläche des Gegenstandes bestimmt werden und
- daß aus diesen mindestens vier Phasenmeßwerten die räumlichen Koordinaten der Punkte und/oder deren zeitliche Änderung bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand (1) aus mindestens einer der mindestens zwei vorbestimmten Richtungen nacheinander mit zwei Streifenmustern, beispielsweise Liniengittern, als unabhängige Lichtmuster belichtet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand (1) aus mindestens einer der mindestens zwei Richtungen nacheinander mit zwei Streifenmustern belichtet wird, wobei die Streifen der beiden Streifenmuster einen vorbestimmten Winkel einschließen.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand (1) aus mindestens einer der mindestens zwei Richtungen nacheinander mit zwei Streifenmustern belichtet wird, wobei die Streifen der beiden Streifenmuster senkrecht aufeinander stehen.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gegenstand (1) aus mindestens einer der mindestens zwei vorbestimmten Richtungen mit einem additiven Kreuzgitter als Lichtmuster, dessen Lichtintensität als Summe zweier unabhängiger Lichtmuster beschrieben werden kann, belichtet wird.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß statt einzelner Lichtmuster Folgen von Lichtmustern verwendet werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Folge von Lichtmustern Gray-Code-Sequenzen verwendet werden.
8. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für die Belichtungen aus den beiden Richtungen dieselbe Belichtungen aus den beiden Richtungen dieselbe Projektionsvorrichtung (2, 4) verwendet wird.
9. Vorrichtung zur Anwendung eines Verfahrens zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen (1) und/oder deren zeitlicher Änderung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch
- mindestens eine Projektionsvorrichtung (2, 4) zur Belichtung der Gegenstände (1) aufeinanderfolgend aus mindestens zwei vorbestimmten Richtungen entweder nacheinander mit mindestens zwei unabhängigen Lichtmustern oder mit einem Lichtmuster, dessen Lichtintensitäten als Summe zweier unabhängiger Licht-

muster beschrieben werden kann,
 mindestens ein räumlich mindestens zweidimensional auflösendes Sensorsystem (3) zur Aufzeichnung der
 auf die Gegenstände (1) belichteten Lichtmuster sowie
 eine Auswerteeinheit, die für jeden der aufgezeichneten Punkte der Oberfläche der Gegenstände aus den
 aufgezeichneten Lichtmustern mindestens vier Phasenmeßwerte bestimmt und aus den erhaltenen Phasen- 5
 meßwerten die Koordinaten der aufgezeichneten Punkte bzw. deren zeitliche Änderung bestimmt.
 10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektionsvorrichtung (2, 4) eine
 zwischen mindestens zwei verschiedenen Positionen bewegbaren Projektionseinheiten aufweist.
 11. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 9 und 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Projek-
 tionsvorrichtung (2, 4) zwei an verschiedenen Positionen befindliche Projektionseinheiten (2, 4) aufweist. 10
 12. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Projek-
 tionsvorrichtung (2, 4) Projektionseinheiten aufweist, die die Gegenstände mit Streifenmuster, Linienmuster
 und/oder additive Kreuzgitter, deren Lichtintensitäten als Summe zweier unabhängiger Lichtmuster be-
 schrieben werden können, belichtet.
 13. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerte- 15
 einheit so ausgebildet ist, daß sie aus den mindestens vier Phasenmeßwerten pro aufgezeichnetem Punkt
 der Oberfläche der Gegenstände (1) die Koordinaten der aufgezeichneten Punkte sowie die Parameter der
 Projektionsvorrichtung (2, 4) bestimmt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

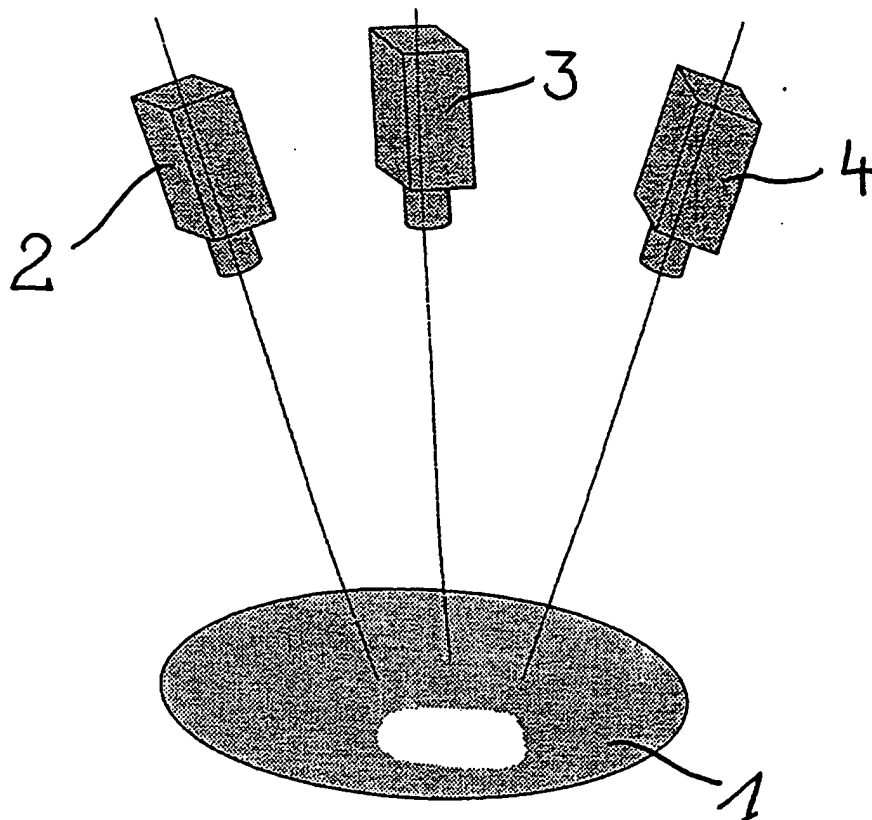


Fig. 1

Fig. 2A

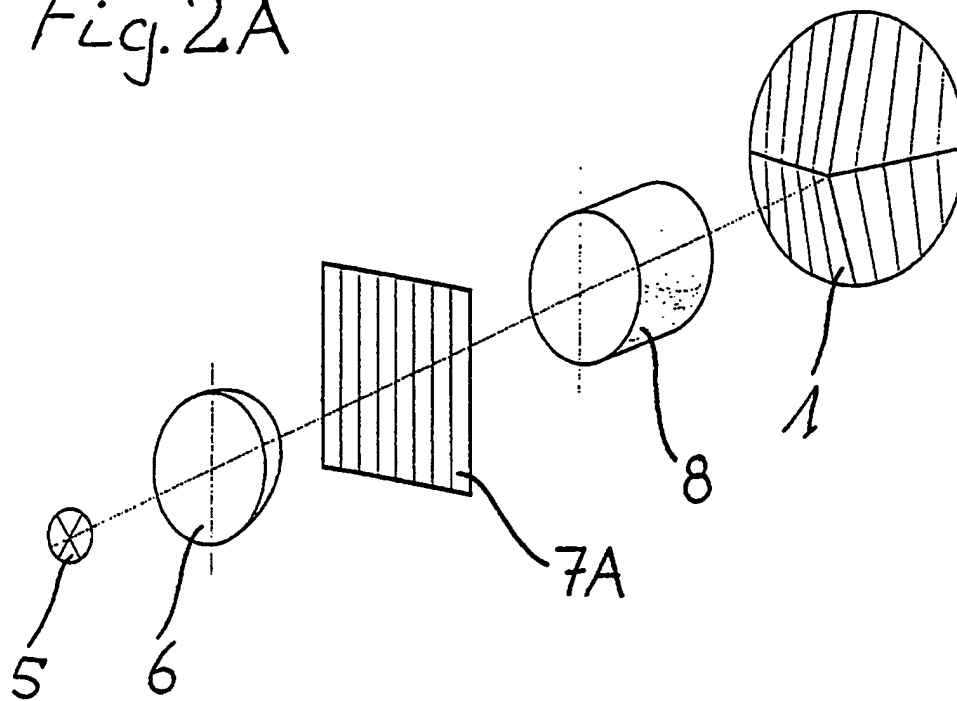
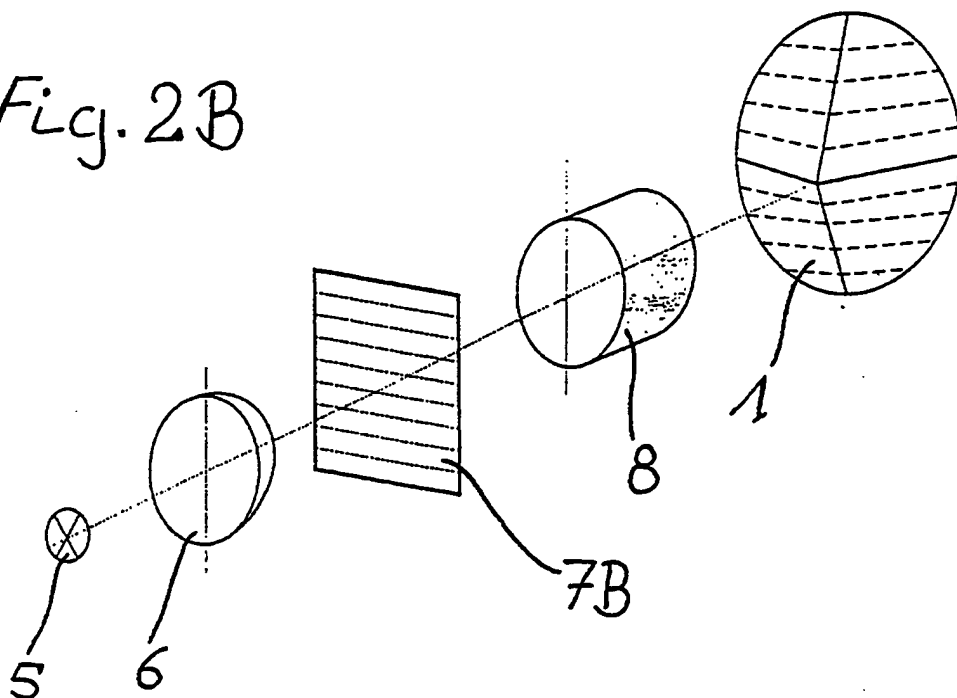


Fig. 2B



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.